

ارزیابی پتانسیل شیپارافتادگی مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای با افزودنی‌های پلیمری و غیرپلیمری

مقاله پژوهشی

امین چوبدار، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران

علیرضا عاملی*، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Amelii@gmail.com

دریافت: ۹۸/۰۴/۱۲ - پذیرش: ۹۸/۱۱/۱۵

صفحه ۱۰۲-۸۳

چکیده

مصالح سنگی درشت دانه ساختار اصلی مخلوط‌های آسفالتی SMA را تشکیل می‌دهند. ایجاد قفل و بست و اتصال مناسب بین مصالح سنگی درشت دانه که با انتخاب نوع دانه بندی، نوع و درصد مناسب الیاف، قیر و مصالح سنگی صورت می‌گیرد، عامل تعیین کننده‌ای در افزایش مقاومت شیپارافتادگی این مخلوط است. به منظور تثبیت مخلوط‌های آسفالتی SMA از الیاف یا اصلاح کننده‌های پلیمری استفاده می‌شود. متداول‌ترین افزودنی پلیمری مورد استفاده در مخلوط‌های SMA SBS است که نیاز به فرایند سخت و هزینه‌بری برای اختلاط با قیر و مصالح سنگی دارد. در این تحقیق به بررسی یکی از افزودنی‌های بکار رفته در آسفالت نیمه گرم به نام ساسوبیت به عنوان جایگزین برای SBS در مخلوط‌های با استخوان بندی سنگدانه‌ای پرداخته شده است. بدین منظور ویژگی‌های قیر و خواص مقاومتی مخلوط‌های حاوی درصد‌های مختلف این افزودنی با انجام آزمایش خزش برای ارزیابی مخلوط در برابر شیپارافتادگی بررسی شد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که مخلوط‌های حاوی ساسوبیت می‌تواند جایگزین مناسبی برای مخلوط‌های حاوی پلیمر SBS باشد. همچنین استفاده از تکنولوژی آسفالت نیمه گرم، علاوه بر مزایای فنی، باعث کاهش هزینه‌های تولید و تراکم و همچنین کاهش انتشار گازهای مضر می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: مخلوط آسفالتی SMA، مقاومت شیپارافتادگی، آسفالت نیمه گرم، SBS، ساسوبیت، الیاف

۱- مقدمه

دارد. این خرابی‌ها مستلزم اجرای عملیات تعمیر و بهسازی در فواصل زمانی نسبتاً کوتاه پس از بهره برداری است که هزینه زیادی را در بر خواهد داشت. این امر باعث توجه مسئولین به استفاده از مخلوط‌های آسفالتی SMA جهت کاهش خرابی‌ها در برابر بارهای سنگین محوری شد (نشریه ۲۰۶، ۱۳۷۹). ورود مخلوط‌های آسفالتی SMA به صنعت راهسازی از اروپا آغاز شد. مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای از انواع مخلوط‌های آسفالتی گرم هستند. این مخلوط‌ها نشان داده‌اند که کمتر دچار تغییر شکل شده و رویه‌های به مراتب مقاوم‌تری در برابر شیپارافتادگی

افزایش عمر رویه‌های آسفالتی، اجرای رویه آسفالتی مقاوم در برابر آمد و شد زیاد و بار محوری سنگین و تغییرات دما و فراهم نمودن رویه‌ای غیرلغزنده همراه با تأمین جریان مطمئن آمد و شد، مورد توجه دست‌اندرکاران صنعت راهسازی می‌باشد. از طرف دیگر ساخت رویه‌های آسفالتی مقاوم در برابر تغییر شکل برای جاده‌های با آمد و شد زیاد و بار محوری سنگین حائز اهمیت است. اجرای رویه‌های آسفالتی گرم با دانه بندی پیوسته در راه‌های با آمد و شد زیاد و بار محوری سنگین به ویژه در مناطق گرمسیری، گاهی خرابی‌هایی نظیر گودی مسیر چرخ و قیرزدگی را به دنبال

عنوان یک لایه روسازی با دوام و مقاوم در مقابل شیارافتادگی مطرح می‌باشند. اولین بار این مخلوط‌ها در آلمان تولید شدند ولی عملکرد مناسب آنها در نهایت منجر به استاندارد نمودن مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای در «مشخصات فنی آلمان»^۱ (در سال ۱۹۸۴) گردید (نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۳). در حال حاضر، این گونه مخلوط‌ها علاوه بر آلمان، در سای کشورهای دنیا و با استانداردهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. مخلوط‌های آسفالتی SMA، در مقابل تغییر شکل بسیار مقاوم می‌باشند که علت این امر ساختمان پایدار مصالح سنگی بکار رفته در آن می‌باشد. فضای خالی این گونه مخلوط‌ها از مخلوط‌های با دانه‌بندی پیوسته بیشتر بوده که با ملاتی از قیر، ماسه شکسته، فیلر و الیاف پر می‌گردد.

استفاده از الیاف به منظور جلوگیری از جاری شدن قیر و متعاقب آن افزایش ضخامت پوشش قیری می‌باشد که در نتیجه آن سرعت اکسیده شدن مخلوط کاهش می‌یابد. علاوه بر این در مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای، الیاف که به عنوان تسلیح کننده ملات نیز عمل می‌کند باعث پایداری و افزایش مقاومت مخلوط می‌گردد (بهبهانی و همکاران، ۱۳۸۷). مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای به علت درصد فضای خالی کم و ضخامت زیاد قشر قیر اندودکننده مصالح سنگی، بادوام و به سفت‌شدگی در اثر گذشت زمان مقاوم می‌باشند. در نتیجه، این مخلوط‌ها نسبت به ترک‌خوردگی زود هنگام، جدا شدن دانه‌ها و آسیب‌دیدگی و خرابی ناشی از رطوبت مقاوم هستند. علاوه بر پایداری خوب و دوام که خدمت‌دهی درازمدت و عمر زیاد مخلوط را تضمین می‌نماید، مزایای دیگری برای این مخلوط‌ها، مطرح می‌باشد. به عنوان مثال، این مخلوط‌های آسفالتی می‌توانند روی سطح شیار افتاده یا ناهموار اجرا گردند زیرا در حین عمل تراکم خیلی کم متراکم و فشرده می‌شوند. این ویژگی، صاف و هموار بودن طولی و عرضی سطح را به راحتی تأمین می‌نماید. مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای در مقایسه با مخلوط‌های بتن آسفالتی صدای چرخ وسیله نقلیه را به میزان تقریباً دودسی‌بل کاهش می‌دهند (AASHTO PP-41, 2004). در شکل ۱ تصویری از سطح یک روسازی آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای نشان داده شده است.

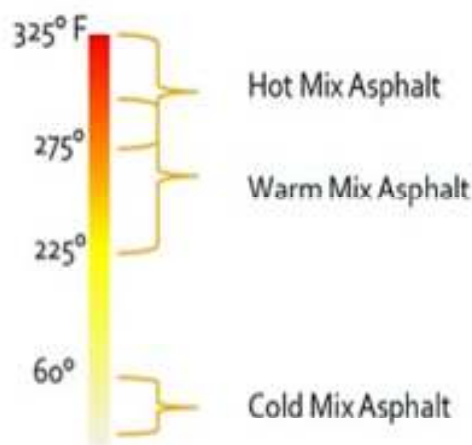
هستند. این امر به دلیل وجود درصد بیشتری از مصالح سنگی درشت‌دانه در این گونه مخلوط‌های آسفالتی است. در این مخلوط‌ها تماس مصالح سنگی درشت به یکدیگر عامل اصلی ایجاد مقاومت می‌باشد (نشریه ۲۰۶، ۱۳۷۹). مخلوط‌های آسفالتی SMA در اواسط دهه ۶۰ میلادی برای نخستین بار در کشور آلمان به صنعت راهسازی معرفی شد. این مخلوط نخست با نام Splittmastix Asphalt شناخته می‌شد که ترکیبی از فیلر، ملات ماستیک، مصالح سنگی و الیاف بود. لیکن عملکرد خوب آنها منجر به استاندارد نمودن مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای در مشخصات فنی آلمان (در سال ۱۹۸۴) گردید. به تدریج پس از آلمان سایر کشورهای اروپایی به استفاده از این مخلوط آسفالتی رو آوردند به نحوی که امروزه اکثر کشورهای اروپا نظیر دانمارک، انگلیس، هلند، بلژیک و کشورهای اسکاندیناوی بطور گسترده ای از آن در صنعت راهسازی استفاده می‌کنند (Brown E.R. 1991) در حالیکه استفاده از این مخلوط در اوایل دهه ۹۰ میلادی در آمریکا به سرعت افزایش یافت (E.Ray Brown, ۱۹۹۶). مهمترین خصوصیات این مخلوط آسفالتی را می‌توان مقاومت بالای آن در برابر شیار افتادگی در مسیر چرخها نام برد. این مخلوط‌ها در برابر بارهای محوری سنگین کمتر دچار تغییر شکل می‌شوند و به دلیل بافت سطحی موجود از مقاومت لغزندگی مناسبی برخوردارند. با توجه به اینکه ساختار اصلی این مخلوط را تماس بین مصالح سنگی درشت دانه تشکیل می‌دهد این مصالح باید از کیفیت بالایی برخوردار باشند. همچنین جهت جلوگیری از ریزش قیر به دلیل درصد بالای آن در مخلوط آسفالتی SMA نیاز به استفاده از تثبیت کننده‌هایی نظیر الیافهای آلی و معدنی و قیرهای پلیمری یا ترکیبی از این مواد احساس می‌شود. این مخلوط‌های آسفالتی به دلیل درصد بالای مصالح سنگی درشت دانه و قفل و بست ایجاد شده بین آنها در برابر بارهای وارده از پایداری و دوام بالایی برخوردارند. ترکیب مصالح سنگی، یک دانه بندی میان تهی را برای این مخلوط‌ها ایجاد کرده است (Kennepohl, Davidson, 1992). در صورت اجرای صحیح، دسترسی به معیارهای آیین‌نامه‌ای و استفاده از مصالح و تثبیت کننده‌های مناسب می‌توان انتظار عملکرد مقاومت بالایی در برابر شیار افتادگی را از این مخلوط داشت. مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای به



شکل ۱. نمائی از بافت زیر و باز سطح یک روسازی SMA

از ۱۰۰ تا ۱۳۵ درجه سانتیگراد می‌باشد که کمتر از محدوده آسفالت گرم رایج قرار دارد. دامنه تولید مخلوط‌های آسفالت‌های گرم ۲۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد بیش‌تر از محدوده این پارامتر در آسفالت‌های نیمه‌گرم می‌باشد و برای مخلوط‌های آسفالتی نسبتاً گرم درجه حرارت تولید در محدوده ۳۵ درجه تا ۱۰۰ درجه قرار دارد. انواع مخلوط‌های آسفالت نیمه‌گرم نیز خود دارای دمای تولید متنوعی هستند. دمای تولید آسفالت‌های نیمه گرم با آسفامین^۲ و ساسویت^۳ حدود ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتیگراد پایین‌تر از مخلوط آسفالت گرم است. برای این نوع مخلوط‌ها در آلمان با توجه به سختی قیر، از دمای ۱۳۰ تا ۱۷۰ درجه سانتیگراد استفاده می‌شود. این محدوده برای مخلوط‌های آسفالت نیمه‌گرم کف‌قیری ۱۱۰ تا ۱۲۰ و برای آسفالت‌های نیمه گرم ساخته شده با اووترم^۴، ۸۵ تا ۱۱۵ درجه سانتیگراد می‌باشد (Warm-Mix Asphalt, 2008; Button et al, 2007) شکل ۲، دامنه درجه حرارت تولید انواع مخلوط‌های آسفالتی را (از مخلوط آسفالتی سرد^۵ تا گرم^۶) نشان می‌دهد.

از مهمترین عیب مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای در مقایسه با مخلوط‌های متداول بتن آسفالتی می‌توان به لزوم استفاده از افزودنی‌ها، استفاده از مصالح سنگی کاملاً شکسته و درصد قیر بیشتر اشاره کرد. هزینه تولید مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای به علت مخلوط کردن در دمای بالاتر افزایش می‌یابد، همچنین جهت پراکنده کردن افزودنی‌ها در مخلوط آسفالتی، به زمان بیشتری در مرحله مخلوط کردن نیاز است (James A. Scherocman, 1992). افزایش آلاینده‌های زیست محیطی، سختی اجرا، وقوع خرابی‌های روسازی، محدودیت اجرا در فصول سرد و هزینه‌های بالای سوخت و انرژی از مهم‌ترین عواملی بودند که باعث پیدایش تکنولوژی آسفالت‌های نیمه گرم^۲ در صنعت راهسازی شد. نخستین تلاش‌ها در زمینه تولید این نوع آسفالت در اروپا و کشور آلمان صورت گرفت (Warm-Mix Asphalt, 2008). مخلوط‌های آسفالتی دارای انواع مختلفی هستند که هر یک در محدوده درجه حرارت‌های خاصی، استفاده و تولید می‌شوند. عموماً این محدوده برای آسفالت نوع نیمه‌گرم،



شکل ۲. محدوده درجه حرارت تولید انواع مختلف مخلوط‌های آسفالتی

خیابان مختاری در شهر تهران (این قطعه توسط شهرداری روکش شده بود اگرچه به گواه شاهدان عینی در منطقه که همان مغازه داران بودند در هنگام روکش خرابی خاصی رخ نداده بود و این عمل صرفاً جهت هم سطح شدن دو مسیر دیگر که با آسفالت معمولی اجرا شده بود و نیاز به روکش داشت، انجام شده بود. بلوار پردیس در بندر عباس (به طول یک کیلومتر و عرض ۳۰ متر در بهمن ماه ۱۳۸۸ توسط شهرداری بندر عباس انجام شد).

۲- روش تحقیق

این تحقیق آزمایشگاهی با هدف تاثیر نوع افزودنی مصرفی بر مقاومت کششی غیر مستقیم و شیار افتادگی مخلوط آسفالتی SMA صورت گرفت. در ابتدا مصالح سنگی کوهی تهیه شد و پس از انجام آزمایشات لازم و تعیین پارامترها و خصوصیات مربوط به مصالح سنگی با استفاده از قیر خالص ۷۰-۶۰ تهیه شده از پالایشگاه تهران، نمونه‌هایی با دانه‌بندی مشخص و تثبیت کننده مورد نظر ساخته شد و تحت آزمایش‌هایی نظیر مقاومت مارشال، خزش و IDT و حساسیت رطوبتی قرار گرفت. در نهایت با استفاده از نتایج آزمایش خزش، پتانسیل شیار افتادگی این مخلوط‌ها بررسی شد.

۲-۱- مصالح سنگی و قیر

در این پژوهش آزمایشگاهی، از مصالح سنگی کوهی، معدن اسب چران رودهن با دانه‌بندی شماره ۴ آیین‌نامه روسازی آسفالتی به عنوان سنگدانه استفاده شده است. خصوصیات مصالح سنگی مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. قیر ۷۰-۶۰ مصرفی جهت ساخت نمونه‌ها از پالایشگاه تهران به عنوان یکی از پر مصرف‌ترین قیرهای رایج در کشور انتخاب شده است. مشخصات فیزیکی آن در جدول ۲ آمده است. همچنین فیلر مورد استفاده از جنس پودر سنگ، از معدن مربوط به مصالح سنگی تهیه شده است. مصالح سنگی کوهی مورد استفاده از معدنی در شرق تهران تهیه شده است. بررسی خصوصیات مصالح سنگی بکار رفته نظیر درصد شکستگی، درصد سایش لس‌آنجلس، درصد پولکی و... نشان داد که خواص مصالح در محدوده استانداردهای

هارلی و پراول در سال ۲۰۰۶ مطالعاتی را در مقیاس آزمایشگاهی و میدانی بر روی ساسویت، آسفامین و اووترم انجام داده‌اند و نتیجه گرفته‌اند که مدول برجهنگی این مخلوط‌ها مشابه با مخلوط‌های آسفالتی گرم می‌باشد (Graham et al, 2005). مالیک و کانتیپونگ در سال ۲۰۰۷ نیز نتایج مشابهی را عنوان نموده‌اند. بنابراین به نظر می‌رسد ضریب قشر مخلوط‌های آسفالتی نیمه‌گرم معادل با مخلوط‌های آسفالتی گرم می‌باشد (Kanitpong, 2007; Mallick, 2007). حتی هارلی و پراول در سال ۲۰۰۶ در مطالعات خود بیان نموده‌اند که اگرچه با کاهش درجه حرارت تولید مخلوط‌های آسفالتی نیمه‌گرم، پتانسیل شیارشدگی^۸ در این نوع مخلوط‌ها افزایش پیدا می‌کند، اما پیرشدگی^۹ کمتر قیر یک عامل مثبت جهت افزایش مقاومت شیارشدگی^{۱۰} می‌باشد (Graham, 2007) به هر حال این موضوعات نیازمند تحقیقات گسترده‌تری می‌باشند. تاکنون تجربیات زیادی در سطح دنیا در زمینه آسفالت‌های نیمه‌گرم انجام شده است که البته سهم ایران در این بین بسیار کم‌رنگ است. نتایج حاصل از معدود آزمایش‌های انجام شده، نشان از افزایش وزن مخصوص، افزایش مقاومت مارشال، کاهش فضای خالی، افزایش ماندگاری آسفالت و بهبود مقاومت شیار افتادگی در نمونه‌های آسفالتی نیمه‌گرم ساخته شده با ساسویت داشت. آنچه در آزمایشات دیده شد، نشان داد صرفاً افزایش درصد ساسویت مناسب نیست؛ چرا که در درصد‌های بالا با کاهش شدید فضای خالی مواجه ایم که برای تولید مخلوط مناسب نیست. مطابق نتایج آزمایش‌ها، درصد بهینه برای ساسویت مصرفی ۳ درصد تعیین شد. نمونه‌های اجرایی آسفالت نیمه‌گرم در سطح کشور بسیار محدود و اکثراً به صورت آزمایشی بوده‌اند. اگر چه تاکنون نکته منفی در رابطه با خرابی برای این روسازی‌ها به چشم نخورده است. مهمترین این نقاط عبارتند از:

فرودگاه سپاه شیراز،

جاده بندر عباس - بندر شهید رجایی (به طول ۲۵۰ متر، اجرا شده در تیر ماه سال ۱۳۸۸، در بازدیدی که در بهمن ماه ۱۳۸۸ صورت گرفت خرابی مشاهده نشد)،

جاده شیراز - فسا- بلوار پردیس در بندرعباس (به طول یک کیلومتر، اجرا شده در پاییز ۱۳۸۷، در بازدیدی که در بهمن ماه ۱۳۸۸ صورت گرفت خرابی مشاهده نشد)،

و الیاف سلولزی (۰,۳ درصد وزن مخلوط) استفاده شد و تاثیر آنها بر مقاومت کششی غیر مستقیم، پارامترهای حجمی، وزنی و همچنین مقاومت شیار افتادگی مخلوطهای SMA با استفاده از نتایج آزمایش خزش دینامیکی ارزیابی شد.

تعیین شده برای مخلوطهای آسفالتی SMA می‌باشند. در این پروژه به منظور بررسی تاثیر نقش افزودنی‌های تثبیت کننده در خواص حجمی و مقاومتی مخلوطهای آسفالتی SMA از دو نوع تثبیت کننده ساسویت (۱، ۲، ۳ و ۴ درصد وزن قیر)

جدول ۱. خصوصیات مصالح سنگی مورد استفاده

استاندارد آزمایش		حدود مجاز طبق نشریه ۲۳۴		نتایج آزمایش	شرح
ASTM	AASHTO	رویه	آستر		
-	T96	۳۰	۴۰	۲۲/۳	حداکثر سایش به روش لوس آنجلس (درصد)
-	-	۲۵	۳۰	۹	حداکثر ضریب تورق با روش BS812 (درصد)
D5821	-	۹۰	۸۰	۹۴	حداقل درصد شکستگی در دو وجه روی الک شماره ۴
-	T85	۲/۵	۲/۵	۲/۲	حداکثر درصد جذب آب (مصالح درشت دانه)
-	T84	۲/۵	۲/۸	۲/۴	حداکثر درصد جذب آب (مصالح ریزدانه)

جدول ۲. مشخصات فیزیکی قیر

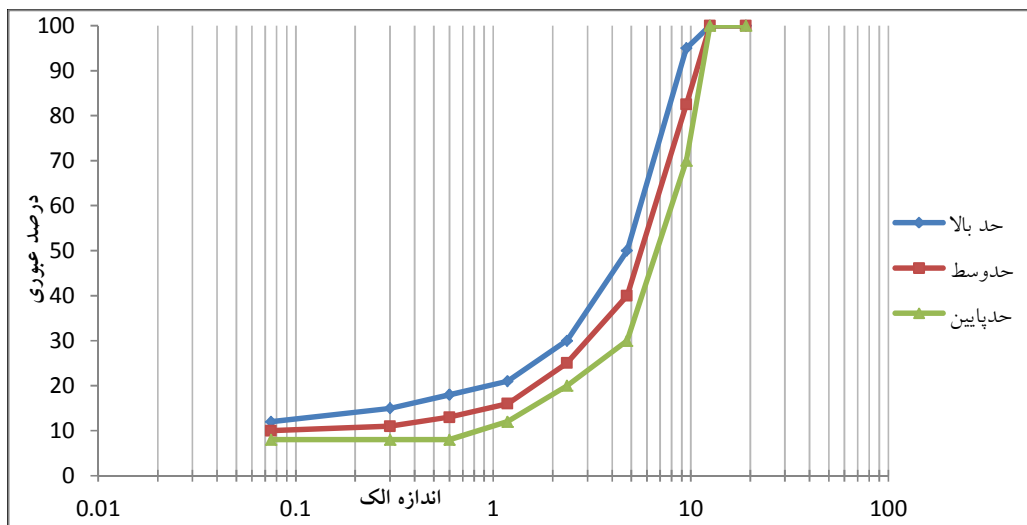
نتیجه آزمایش	استاندارد	نوع آزمایش
۴۷ درجه سانتی‌گراد	ASTM D36	نقطه نرمی
۶۷ دسی میلی‌متر	ASTM D5	درجه نفوذ در دمای ۲۵ درجه
۳۰۴ درجه سانتی‌گراد	ASTM D92	درجه اشتعال
بیش از ۱۰۰ سانتی‌متر	ASTM D113	شکل پذیری در دمای ۲۵
۱/۰۴۵ گرم بر سانتی‌متر کعب	ASTM D70	چگالی
۰/۰۵ درصد	ASTM D6	افت حرارتی
۹۹/۵ درصد	ASTM D4	قابلیت حل

سنگدانه‌ای با دانه‌بندی با بزرگترین اندازه سنگدانه ۹,۵ میلی‌متر مقاومت قابل قبولی در برابر شیارافتادگی از خود نشان می‌دهند. در جدول ۳ و شکل ۳ دانه بندی مورد استفاده در این تحقیق نشان داده شده است.

در این پژوهش حد وسط دانه بندی با بزرگترین اندازه ۹,۵ میلیمتر جهت ساخت نمونه‌های SMA و با استفاده از افزودنی ساسویت و الیاف سلولزی انتخاب شد. تجربیات گذشته نشان داده، مخلوطهای آسفالتی با استخوان‌بندی

جدول ۳. دانه بندی های پیشنهادی AASHTO استاندارد PP-41

درصد وزنی رد شده از هر الک						اندازه الک
۹,۵ میلی متر		۱۲,۵ میلی متر		۱۹ میلی متر		
حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	
				۹۰	۱۰۰	۱۹
۱۰۰	۱۰۰	۹۰	۱۰۰	۵۰	۸۸	۱۲,۵
۷۰	۹۵	۵۰	۸۰	۲۵	۶۰	۹,۵
۳۰	۵۰	۲۰	۳۵	۲۰	۲۸	۴,۷۵
۲۰	۳۰	۱۶	۲۴	۱۶	۲۴	۲,۳۶
-	۲۱	-	-	-	-	۱,۱۸
-	۱۸	-	-	-	-	۰,۶
-	۱۵	-	-	-	-	۰,۳
۸	۱۲	۸	۱۱	۸	۱۱	۰,۰۷۵



شکل ۳. منحنی دانه بندی مصالح سنگی با بزرگترین اندازه ۹,۵ میلیمتر

۳- روش کار آزمایش

۳-۱- آزمایش کشش غیرمستقیم

در آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم، یک نمونه استوانه‌ای به صورت قطری بارگذاری می‌شود. آزمایش کشش غیرمستقیم برای تعیین مقاومت کششی مخلوط‌های

آسفالتی و پیش‌بینی ظهور ترک‌ها در مخلوط آسفالتی استفاده می‌شود. همچنین می‌توان از این آزمایش برای ارزیابی عمر خستگی نیز استفاده کرد. آزمایش کششی غیرمستقیم بر اساس آیین‌نامه ASTM D6931-12 با نرخ ثابت ۵۰/۸ میلی‌متر بر دقیقه و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد.

۰/۸ باشد. برای اشباع شدن، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب ۶۰ درجه قرار گرفتند.

۳-۴- خزش دینامیکی

جهت بررسی شیارشدگی نمونه‌ها از آزمایش خزش دینامیکی استفاده شد. آزمایش خزش دینامیکی یکی از معیارهای مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر تغییر شکل‌های دائم می‌باشد. آزمایش با استفاده از دستگاه UTM- 5P در دمای ثابت ۵۰ درجه سانتی گراد و تحت تنش ثابت ۴۵۰ کیلو پاسکال که به صورت شبه سینوسی اعمال شد، انجام گرفت. در این آزمایش یک تنش ثابت در دمای ثابت با مدت بارگذاری ۰/۱ ثانیه و زمان استراحت ۰/۹ ثانیه، توسط یک صفحه صلب به صورت عمودی به نمونه وارد می‌شود. نتایج آزمایش بر حسب عدد روانی برداشت شد که معیاری برای نشان دادن مقاومت مخلوط در برابر تغییر شکل‌های دائمی می‌باشد یعنی هر قدر عدد روانی بزرگ‌تر باشد، مقاومت نمونه در برابر تغییر شکل‌های دائم بیشتر است.

۴- تحلیل نتایج آزمایشات

۴-۱- نتایج آزمایشات قیر

نتایج حاصل از آزمایشات نقطه نرمی^{۱۱}، درجه نفوذ^{۱۲}، ویسکوزیته، نشانه درجه نفوذ^{۱۳} (PI)، عدد ویسکوزیته-نفوذ^{۱۴} (PVN) به عنوان پارامترهای حاصل از آزمایش‌های رایج قیر در اشکال زیر نشان داده شده است. شکل ۴ نشان می‌دهد با افزایش درصد ساسوبیت مقدار درجه نفوذ کاهش یافته است. این اتفاق به این معنی است که ساسوبیت باعث افزایش میزان سفتی قیر خواهد شد. در واقع اضافه کردن تنها ۲ درصد ساسوبیت این قابلیت را دارد که یک قیر ۷۰-۶۰ را به یک قیر ۵۰-۴۰ تبدیل کند. درجه نفوذ کمتر قیر باعث بهبود رفتار الاستیک آن شده است که در نتیجه افزایش مقاومت آسفالت در برابر تغییر شکل‌های دائمی و شیار افتادگی را به همراه خواهد داشت و برای مناطق با درجه حرارت بالا (گرمسیر) بسیار مناسب است. در حال حاضر به دلیل کمبود قیرهای با درجه نفوذ ۵۰-۴۰ در پالایشگاه‌های کشور در اکثر مناطق از قیر ۷۰-۶۰ استفاده می‌شود که این امر باعث افزایش میزان خرابی‌های ماندگار آسفالت، شیار افتادگی، کاهش مقاومت برشی آسفالت، جمع شدن آسفالت

مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌ها با استفاده از معادله زیر تعیین شد:

$$ITS = \frac{2P_{max}}{\pi Dt} \quad (1)$$

که ITS: مقاومت کششی نمونه‌ها بر حسب پاسکال
P_{max}: بار اعمالی در زمان شکست بر حسب نیوتون
D: قطر نمونه‌ها بر حسب میلی‌متر
t: ارتفاع نمونه‌ها بر اساس میلی‌متر می‌باشد.

۳-۲- مدول برجهندگی

آزمایش مدول برجهندگی در دماهای پایین به نحوی مرتبط با ترک‌خوردگی حرارتی می‌باشد. تحقیقات متعددی نشان داده است که مخلوط‌های سخت تر در دماهای پایین تر بیشتر مستعد ترک‌خوردگی حرارتی می‌باشند. برای تعیین مدول برجهندگی از استاندارد AS 2891-13-1-1995 استفاده شد. ابتدا نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محفظه دستگاه در دمای ۲۵ سانتی‌گراد قرار داده شد. شکل بارگذاری نیمه سینوسی، مدت اعمال بار ۰/۱ ثانیه، زمان استراحت ۰/۹ ثانیه و ضریب پواسون ۰/۳۵ فرض گردید. در این آزمایش به ازای هر مخلوط، ۳ نمونه آسفالتی تهیه و روی هر نمونه ۵ پالس تکرار شد و میانگین نتایج به وسیله دستگاه نمایش داده شد. مدول برجهندگی بر اساس معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$M_r = \frac{P(\mu+0.2734)}{\sigma \times t} \quad (2)$$

Mr = مدول برجهندگی بر حسب مگا پاسکال

P = بار تکراری بر حسب نیوتون

μ = نسبت پواسن

t = ضخامت نمونه بر حسب میلی‌متر

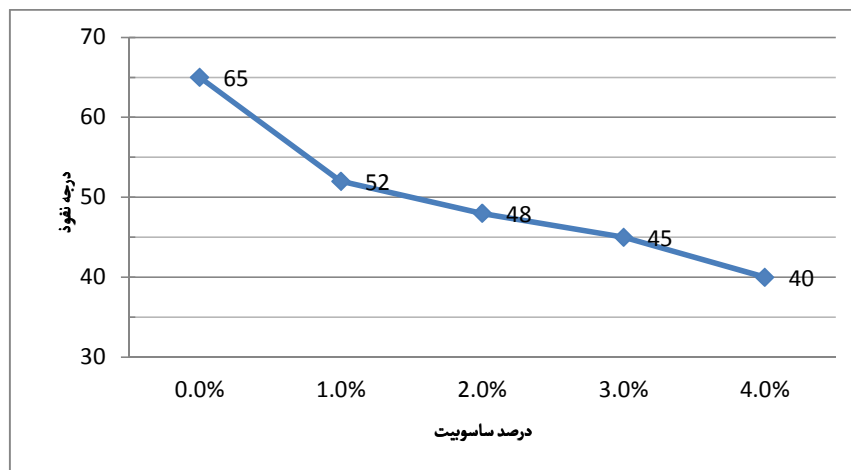
σ = کل تغییر شکل بازگشت‌پذیر افقی بر حسب میلی‌متر

۳-۳- آزمایش حساسیت رطوبتی

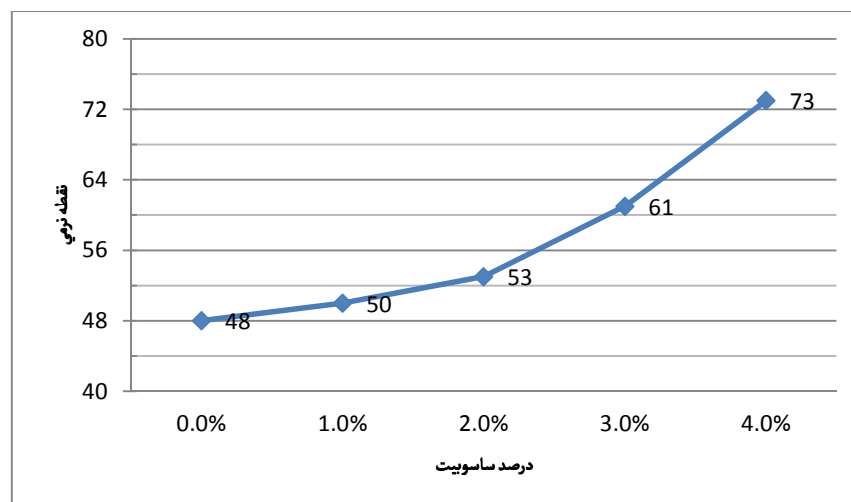
این آزمایش بر اساس استاندارد AASHTO - T283 انجام می‌گیرد. نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌ها بر طبق این استاندارد در شرایط اشباع و غیراشباع باید بیش از

تنهایی دلیلی بر مقبولیت موضوع نیست چرا که این آزمایش تنها در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد انجام می‌شود. لذا در این پروژه با استناد به نتایج آزمایش رتومتر برش دینامیکی در بخش آزمایش‌های روسازی ممتاز، رفتار واقعی قیرهای اصلاح شده به این روش، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

تحت اثر نیروهای وارده خواهد شد. استفاده از این روش به خصوص برای مناطق گرمسیر بسیار سودمند خواهد بود. با این وجود به دلیل اینکه قیرهای با درجه نفوذ یکسان در شرایط دمایی مختلف می‌توانند رفتار ویسکو الاستیک مختلفی نیز از خود نشان دهند، استناد به درجه نفوذ به



شکل ۴. تغییرات درجه نفوذ قیر خالص ۷۰-۶۰ با افزایش درصد ساسویت



شکل ۵. تغییرات نقطه نرمی قیر خالص ۷۰-۶۰ با افزایش درصد ساسویت

این پدیده به همراه کاهش درجه نفوذ در واقع باعث افزایش نشانه درجه نفوذ (PI) خواهد شد که از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$PI = [1952 - 500 \log(\text{pen}25) - 20 SP] / [50 \log(\text{pen}25) - SP - 120]$$

محدوده ۲- تا ۲+ می‌باشد. هر چه مقدار PI بیشتر باشد

تغییرات حاصل در نقطه نرمی قیر خالص با افزایش درصد ساسویت مطابق شکل ۴ نشان از کاهش حساسیت حرارتی قیرهای اصلاح شده دارد. افزایش نقطه نرمی بدین معناست که عملکرد رفتار ویسکوز قیر با افزایش دما به تاخیر می‌افتد.

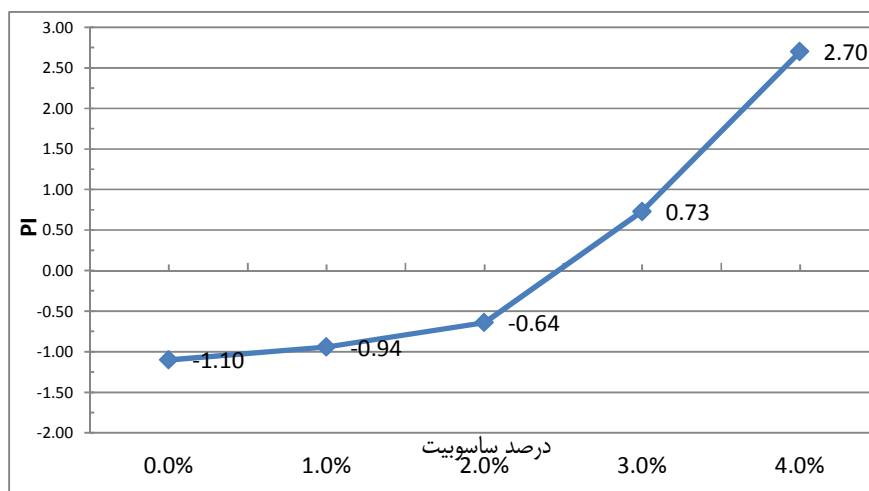
Pen 25: درجه نفوذ در ۲۵ درجه سانتیگراد

SP: نقطه نرمی بر حسب درجه سانتیگراد

مقادیر PI برای قیرهای مصرفی در راهسازی معمولاً در

افزودنی نشان داده شده است.

حساسیت حرارتی قیر کاهش یافته و قیر عملکرد مناسبی از خود خواهد داشت. در شکل ۶ تغییرات PI در برابر درصد

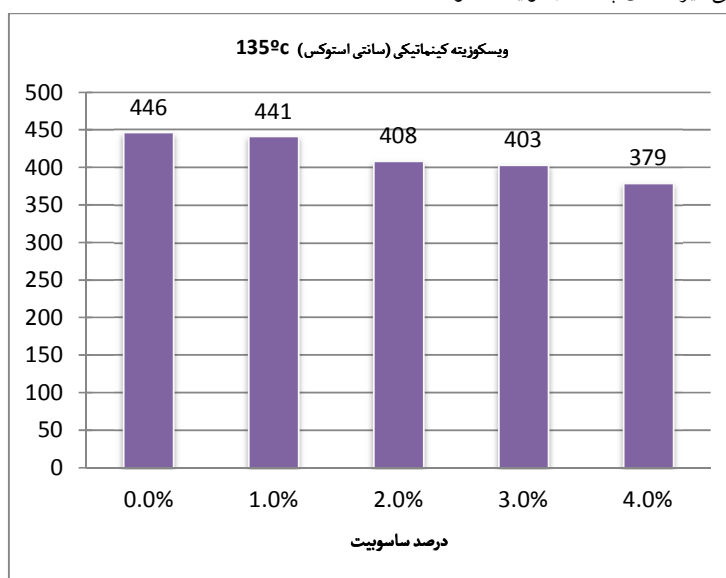


شکل ۶. تغییرات نشانه درجه نفوذ قیر خالص ۷۰-۶۰ با افزایش درصد ساسوبیت

کاهش می‌یابد. این کاهش در دمای تولید می‌تواند در نهایت به کاهش هزینه‌های تولید و همچنین کاهش انتشار گازهای مضر بیانجامد.

همچنین نتایج سایر آزمایش‌های انجام شده روی قیر خالص ۷۰-۶۰ مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۴ ارائه شده است.

کندروانی قیر یکی از عوامل اصلی در نحوه ساخت و اجرای مخلوط‌های آسفالتی و همچنین کیفیت آسفالت ساخته شده می‌باشد. کندروانی قیر مورد آزمایش، با افزایش درصد ساسوبیت به تدریج کاهش پیدا می‌کند. این امر در هنگام ساخت مخلوط‌های آسفالتی باعث بهبود پوشش سنگدانه‌ها با قیر و در نتیجه افزایش کارایی مخلوط خواهد شد. همچنین با کاهش کندروانی قیر، دمای پخت و تولید مخلوط



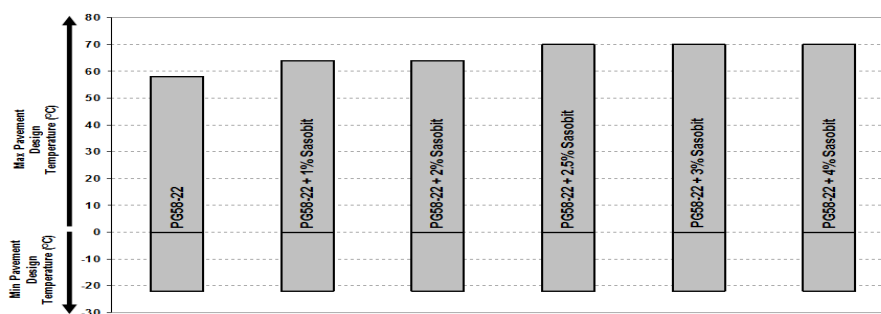
شکل ۷. کندروانی کینماتیکی قیر حاوی درصدهای مختلف ساسوبیت

جدول ۴. مشخصات قیر ۷۰-۶۰ مصرفی در آزمایشات

نتایج	روش آزمایش		آزمایشات قیر خالص
	AASHTO	ASTM	
1.03	T228	D70	وزن مخصوص در ۲۵ درجه سانتی گراد
65	T49	D5	درجه نفوذ در ۲۵ درجه سانتی گراد
48	T53	D36	نقطه نرمی بر حسب سانتی گراد
299	T48	D92	درجه اشتعال بر حسب سانتی گراد

معنی است که قیر در محدوده دمایی بزرگتری می‌تواند رفتار مناسبی از خود نشان دهد. نتایج حاصل در شکل ۸ نشان داده شده است. بر این اساس قیرهای اصلاح شده اگر چه بر اساس نتایج آزمایش BBR در دمای پایین رفتار نامناسب تری را نشان دادند با این حال به دلیل اختلاف کمشان با نمونه‌های خالص تغییری در حد پایین PG ایجاد نکرده اند، اما حد بالای PG به میزان مناسبی افزایش یافته است. این اتفاق نشان از آن دارد قیرهای اصلاح شده با روش نیمه گرم برای مناطق گرمسیر بسیار مناسب بوده ولی برای مناطق سردسیر تفاوت چندانی در مقایسه با قیرهای خالص ندارند. به نظر می‌رسد اصلاح قیر با ۲.۵ درصد ساسوبیت به دلیل اینکه هم PG مناسبی را ایجاد کرده و هم حد پایین را تغییر نداده مناسب‌ترین گزینه باشد. با این وجود این مقدار درصد می‌تواند برای قیرهای مختلف متفاوت باشد.

نتایج حاصل از انجام آزمایش‌های روسازی ممتاز روی نمونه‌های قیر حاوی درصد‌های مختلف ساسوبیت، نشان‌دهنده تأثیرات مثبت این افزودنی روی قیر خالص بود. بر اساس این نتایج، می‌توان درجه عملکردی^{۱۵} قیرهای اصلاح شده با روش نیمه گرم را تعیین کرد که به شکل PGXX-YY نمایش داده می‌شود. XX در واقع حد بالای دمایی است که قیر رفتار مناسبی از خود نشان می‌دهد و بر اساس نتایج آزمایشات DSR در دمای بالا و با رعایت شرایط کنترل مقدار $G^*/\sin \delta$ برای نمونه‌های پیر شده و پیر نشده محاسبه شده است. YY به عنوان حد پایین درجه عملکردی قیر می‌باشد که با استفاده از نتایج آزمایش BBR محاسبه می‌شود. بر این اساس ۱۰ درجه سانتیگراد کمتر از دمایی که در آن دما مقادیر سختی خزشی و M-Value در محدوده مجاز باشند به عنوان دمای پایین PG انتخاب می‌شود. هرچه محدوده دمایی بالا و پایین بیشتر باشد به این



شکل ۸. تغییرات درجه عملکرد قیر با درصد‌های مختلف ساسوبیت

۴-۲-تحلیل نتایج آزمایش‌های مخلوط آسفالتی

۴-۲-۱- مقاومت مارشال

همچنین نتایج محاسبه قیر بهینه برای درصد‌های مختلف ساسوبیت در شکل ۹ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش درصد ساسوبیت باعث کاهش درصد قیر می‌گردد. وزن مخصوص نمونه‌ها و فضای خالی آن‌ها کاهش پیدا می‌کند.

نتایج حاصل از آزمایش‌های تعیین مقاومت مارشال و معیارهای حجمی نمونه‌های ساخته شده با درصد‌های مختلف ساسوبیت در ادامه ارائه شده است. همان‌طور که در جداول ۵ تا ۸ نشان داده شده است؛ با افزایش درصد ساسوبیت، مقاومت مارشال نمونه‌ها افزایش یافته است.

جدول ۵. تعیین درصد قیر بهینه برای نمونه‌های ساخته شده با قیر

درصد قیر	Gmb	Va%	Vma%	(کیلوگرم بر نیوتن) استقامت مارشال	خالص (میلی‌متر) روانی
۵,۵	2.284	5.6	18	7.52	3.82
۶	2.322	3.9	17	8.96	4.04
۶,۵	2.329	3.25	17.2	9.58	4.36
۷	2.319	2.51	18	9.02	4.54

جدول ۶. تعیین درصد قیر بهینه برای نمونه‌های ساخته شده با قیر حاوی ۱٪ ساسویت

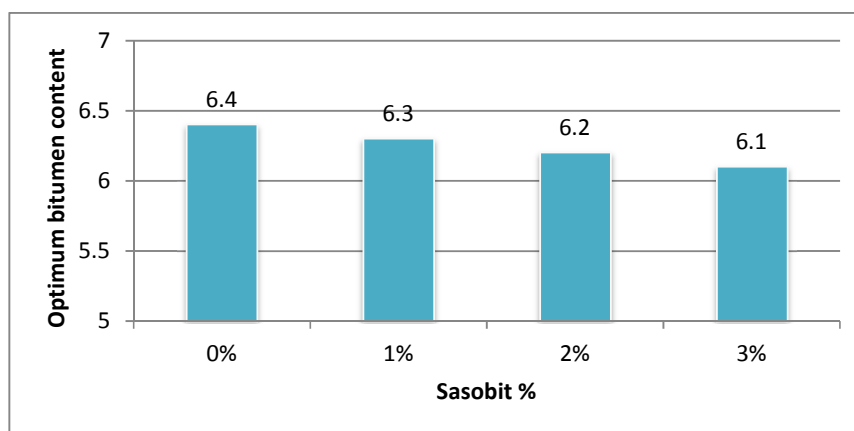
درصد قیر	Gmb	Va%	VMA%	(کیلوگرم بر نیوتن) استقامت مارشال	(میلی‌متر) روانی
۵,۵	2.21	5.2	17.7	8.58	3.68
۶	2.223	3.7	17.6	9.56	3.81
۶,۵	2.217	2.8	18.3	9.49	4.18
۷	2.21	1.7	19.1	8.51	4.25

جدول ۷. تعیین درصد قیر بهینه برای نمونه‌های ساخته شده با قیر حاوی ۲٪ ساسویت

درصد قیر	Gmb	Va%	Vma%	(کیلوگرم بر نیوتن) استقامت مارشال	(میلی‌متر) روانی
۵,۵	2.278	5.5	18.3	9.01	3.31
۶	2.319	3.8	17.2	10.60	3.46
۶,۵	2.328	2.9	17.4	9.42	3.74
۷	2.321	2.1	18	9.89	4.01

جدول ۸. تعیین درصد قیر بهینه برای نمونه‌های ساخته شده با قیر حاوی ۳٪ ساسویت

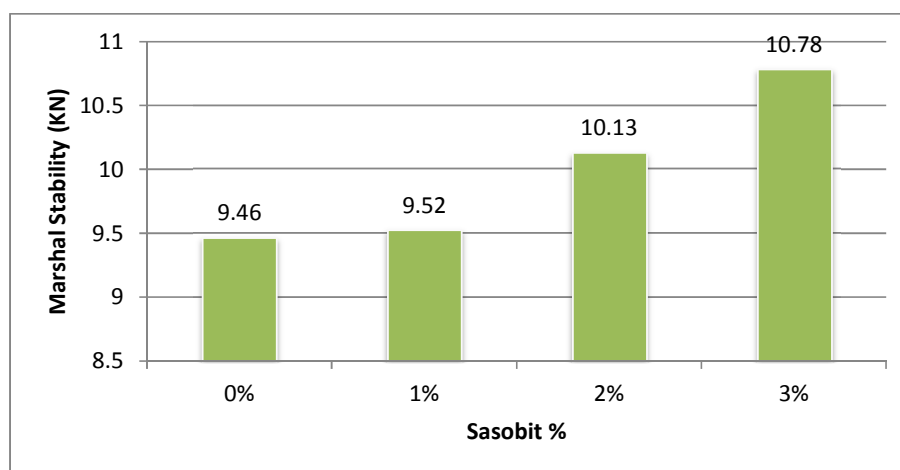
درصد قیر	Gmb	Va%	VMA%	(کیلوگرم بر نیوتن) استقامت مارشال	(میلی‌متر) روانی
۵,۵	2.269	5	18.6	9.11	3.42
۶	2.299	3.2	17.9	10.70	3.68
۶,۵	2.281	2.5	19	11.09	3.81
۷	2.271	2	19.8	9.48	3.99



شکل ۹. نتایج حاصل از تعیین درصد قیر بهینه

مارشال معیار مناسبی برای تعیین درصد بهینه قیر و خواص مقاومتی آسفالت نمی‌باشد، افزایش درصد ساسوبیت باعث افزایش مقاومت مارشال نمونه‌ها گشته است.

همچنین نتایج نشان داد، افزایش درصد ساسوبیت باعث افزایش مقاومت مارشال نمونه‌های آسفالتی ساخته شده می‌گردد. با وجود اینکه طبق نتایج تجربیات گذشته، مقاومت

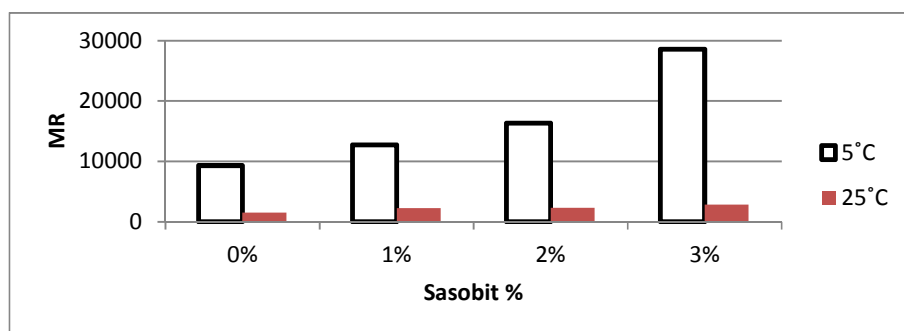


شکل ۱۰. مقایسه مقاومت مارشال نمونه‌های ساخته شده

تاثیر مثبت این افزودنی می‌باشد. هرچند افزایش بیش از حد مدول برجهندگی باعث شکننده شدن روسازی خواهد شد. بر اساس نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده و همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، میزان ۲ درصد ساسوبیت می‌تواند مقدار مناسبی افزایش در مدول برجهندگی ایجاد کند در حالی که مقدار بیش از آن باعث افزایش بیش از اندازه مدول برجهندگی و در نتیجه کاهش کارایی مخلوط آسفالتی می‌گردد.

مدول برجهندگی، یکی از عوامل موثر در تعیین ضخامت رویه‌های آسفالتی می‌باشد. نتایج بدست آمده از انجام آزمایش تعیین مدول برجهندگی توسط دستگاه UTM، در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش درصد ساسوبیت باعث افزایش مدول برجهندگی نمونه‌ها می‌گردد. با توجه به اینکه میزان مدول برجهندگی تاثیر مستقیمی بر تعیین ضخامت لایه آسفالتی دارد، افزایش مدول برجهندگی نمونه‌های حاوی ساسوبیت، نشان‌دهنده

۴-۲-۲-۴- آزمایش مدول برجهندگی



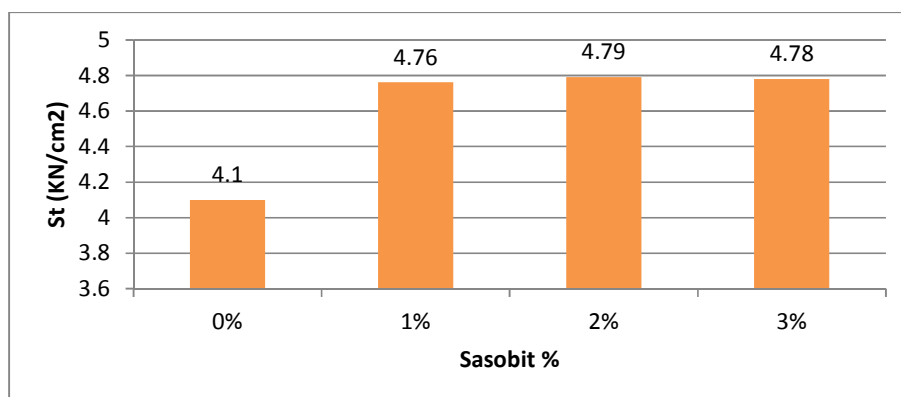
شکل ۱۱. تعیین MR برای نمونه‌های ساخته شده

آزمایش حساسیت رطوبتی

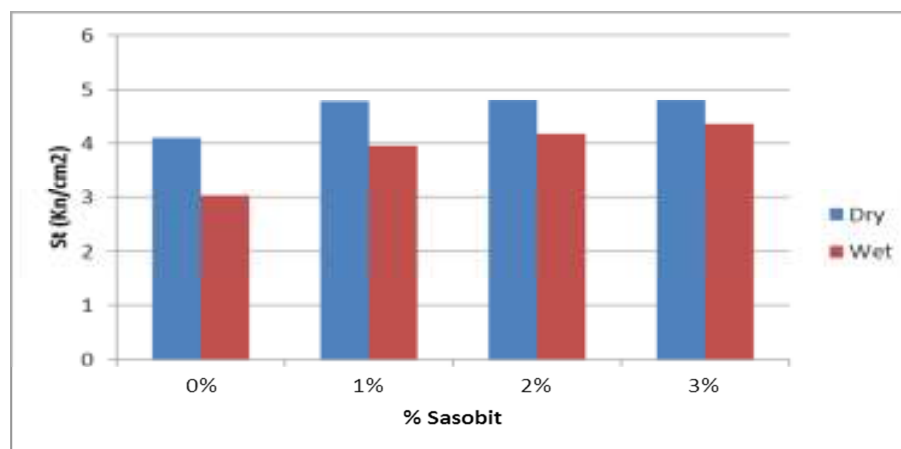
از نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که با افزایش درصد ساسوبیت، مقاومت کششی نمونه‌های آسفالتی هم در حال خشک و هم در حال مرطوب افزایش می‌یابد. نتایج در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است. با توجه به نتایج شکل ۱۴ می‌توان دریافت که مقاومت کششی نمونه‌های شاهد بدون افزودنی در برابر رطوبت کافی نمی‌باشد و دارای نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم ۰/۷۴ می‌باشد.

۴-۲-۳- آزمایش کششی غیر مستقیم

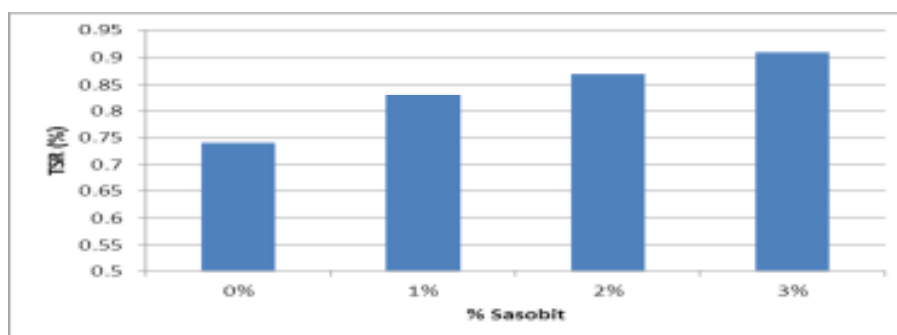
پس از اینکه نمونه‌های ساخته شده با قیر بهینه تحت آزمایش کششی غیر مستقیم قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد، افزایش درصد ساسوبیت باعث بهبود عملکرد مخلوط‌های ساخته شده در آزمایش ITS شد. افزایش مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر تنش‌های کششی وارد شده بر آن بر اثر بار ترافیک، در نهایت باعث افزایش عمر روسازی خواهد شد.



شکل ۱۲. شاخص St تعیین شده برای مخلوط‌های آسفالتی SMA با درصدهای مختلف Sasobit



شکل ۱۳. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم

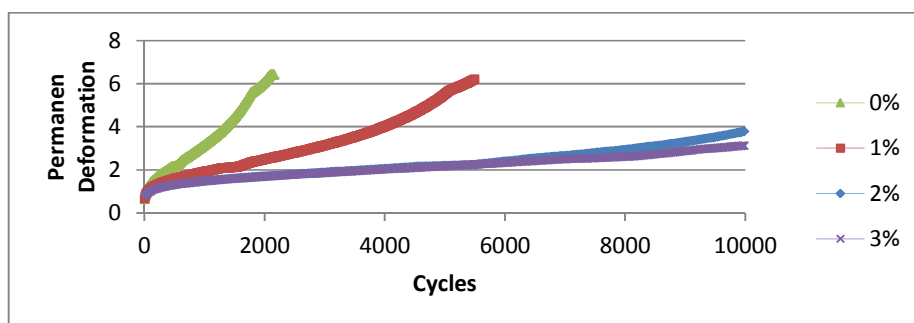


شکل ۱۴. نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم در حالت خشک و اشباع

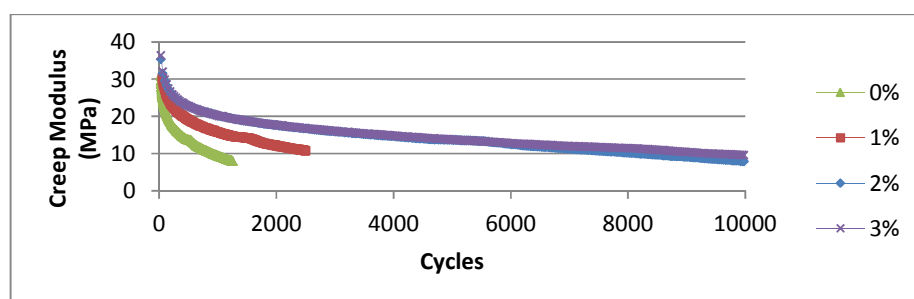
۴-۲-۴- آزمایش خزش دینامیکی

خالص؛ کرنش تجمعی کمتری دارند که این مقدار با افزایش درصد ساسوبیت کاهش می‌یابد. با توجه به شکل، افزایش درصد ساسوبیت به طور قابل ملاحظه‌ای حساسیت مخلوط به تغییر شکل دائمی را کاهش می‌دهد. این امر به معنی افزایش مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر شیار افتادگی می‌باشد. نتایج حاصل از مدول خزش بدست آمده از آزمایش خزش دینامیکی انجام شده در شکل ۱۶ ارایه شده است. همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود، نمونه ساخته شده با قیر خالص و نمونه ساخته شده با قیر حاوی ۱ درصد ساسوبیت، نسبت به نمونه‌های دیگر، تعداد بارگذاری کمتری را تحمل کرده و زودتر گسیخته شده‌اند. افزایش درصد ساسوبیت به طور قابل ملاحظه‌ای باعث کاهش مدول خزش نمونه‌های آسفالتی شده است. این امر به معنی عملکرد بهتر مخلوط‌های حاوی ساسوبیت نسبت به مخلوط‌های معمولی است.

شیارشده‌گی یکی از خرابی‌های رایج در روسازی‌های آسفالتی می‌باشد و به تغییر شکل‌های دائمی گفته می‌شود که بصورت شیار فرورفته در مسیر چرخ وسایل نقلیه به موازات محور طولی راه دیده می‌شود (Sureyya, Halit, Aksoy, 2007). لذا در این تحقیق شیارشده‌گی نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی شیارشده‌گی نمونه‌ها از آزمایش خزش دینامیکی استفاده شد. آزمایش خزش دینامیکی یکی از معیارهای مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر تغییر شکل‌های دائم می‌باشد (National Cooperative Highway, 2002). با توجه به نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده توسط دستگاه UTM و همان‌طور که انتظار می‌رفت، افزایش ساسوبیت باعث کاهش کرنش تجمعی نمونه‌های ساخته شده است. همان‌طور که در شکل ۱۵ نشان داده شده است، نمونه‌های حاوی ساسوبیت علاوه بر تحمل سیکل‌های بیشتر نسبت به نمونه‌ی ساخته شده با قیر



شکل ۱۵. تغییر شکل دائمی برای نمونه‌های ساخته شده با درصد‌های مختلف Sasobit



شکل ۱۶. نتایج حاصل از آزمایش خزش برای نمونه‌های ساخته شده با درصد‌های مختلف Sasobit

است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، هردو افزودنی باعث افزایش مقاومت کششی مخلوط آسفالتی نسبت به مخلوط تولید شده با قیر خالص می‌گردند. افزایش مقاومت مخلوط‌های تولید شده حاوی SBS اندکی بیشتر از مخلوط‌های ساخته شده با ساسوبیت می‌باشد اما مقدار ناچیز آن نشان می‌دهد که ساسوبیت می‌تواند جایگزین مناسبی برای SBS در مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای باشد.

مقایسه نتایج حاصل از آزمایش خزش

همان‌طور که پیش از این نیز ذکر شد، در آزمایش خزش دینامیکی، نمونه‌های حاوی ساسوبیت نسبت به نمونه‌های خالص تغییر شکل دائمی کمتری از خود نشان دادند. این امر در پژوهش‌های انجام شده در مورد پلیمر SBS هم اتفاق می‌افتد. در حالت کلی، می‌توان گفت که استفاده از هر دو افزودنی، به دلیل عملکردی که در مخلوط آسفالتی دارند، باعث افزایش مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر شیارافتادگی می‌گردد.

مقایسه اقتصادی مخلوط‌های تولیدشده با SBS و

ساسوبیت

امروزه استفاده از آسفالت‌های نیمه‌گرم به دلیل کاهش هزینه‌های سوخت و انرژی، در بسیاری از کشورها مورد توجه قرار گرفته است. این در حالی است که در ایران بدلیل جدید بودن این تکنولوژی توجه چندانی به آن نشده است. با این وجود اصلاح قیر و مخلوط‌های آسفالتی یکی از روش‌هایی است که در ایران دنبال می‌شود، به خصوص برای پروژه‌هایی که از اهمیت خاصی برخوردارند. در این بخش به بررسی اقتصادی مخلوط‌های آسفالتی نیمه‌گرم اصلاح شده با ساسوبیت در مقایسه با یکی از رایج‌ترین مخلوط‌های آسفالتی گرم اصلاح شده با افزودنی SBS که در ایران نیز بسیار مورد توجه قرار دارد پرداخته شده است. با توجه به اطلاعات ذکر شده، آسفالت‌های نیمه‌گرم و گرم اصلاح شده اگر چه از نظر فنی هردو از شرایط مناسبی برخوردارند اما با در نظر گرفتن هزینه‌های مربوط به تولید، پخش و تراکم این دو نوع آسفالت به راحتی می‌توان برتری آسفالت‌های نیمه‌گرم را پذیرفت. این مهم به خصوص پس از آزادسازی یارانه‌های مربوط به حامل‌های انرژی و در راستای مشارکت در پیشبرد اهداف دولت در این زمینه بسیار موثر رو کارا خواهد بود. مزیت اصلی مخلوط‌های آسفالتی حاوی ساسوبیت نسبت به مخلوط‌های تولید شده با استفاده از پلیمر SBS، فرایند تولید و دمای تولید و تراکم کمتر آن است. کاهش دمای تولید مخلوط آسفالتی به معنی کاهش مصرف سوخت مورد نیاز برای تولید گرما و در نتیجه کاهش

نتایج بدست آمده از آزمایش‌های خزش دینامیکی و کشش غیر مستقیم نشان داد، نمونه‌هایی که در آزمایش کشش غیر مستقیم، مقاومت بالاتری از خود نشان داده‌اند، در آزمایش خزش دینامیکی عملکرد بهتری داشتند. به عبارتی می‌توان گفت نتایج حاصل از آزمایش کششی غیر مستقیم می‌تواند به عنوان ملاک مناسب‌تری نسبت به مقاومت مارشال در تعیین پتانسیل شیار شدگی مخلوط‌های آسفالتی SMA به کار رود.

مقایسه فنی و اقتصادی SBS و Sasobit

حسن فضاکنایی در پایان نامه خود تحت عنوان "تاثیر نوع دانه‌بندی بر خواص مقاومتی مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای" اثر پلیمر SBS بر خواص مقاومتی مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای با دانه‌بندی‌های مختلف را ارزیابی کرده است. با توجه به اینکه پژوهش حاضر در راستای کار تحقیقاتی ایشان است، برای مقایسه خواص مقاومتی مخلوط‌های حاوی دو افزودنی، از نتایج حاصل از آن پروژه تحقیقاتی استفاده خواهد شد.

مقایسه روش تولید مخلوط

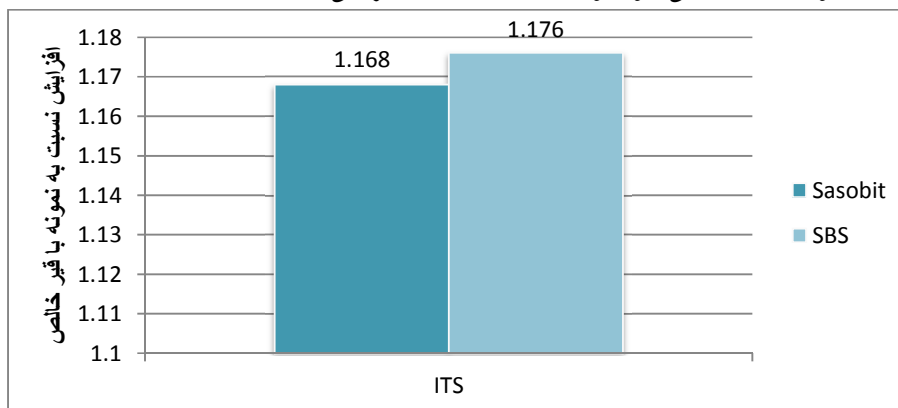
یکی از معایب اصلی مخلوط‌های حاوی SBS، روش تولید، پخت و اختلاط آن‌ها می‌باشد. در ساخت نمونه‌ها با قیر پلیمری، قیر خالص پس از اختلاط با پلیمر SBS به مدت ۴۵ دقیقه با مخلوط‌کن برش بالا، باید به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شود تا مرحله پخت کامل گردد. سپس قیر پلیمری حاصل در دمای ۱۸۰-۱۷۰ درجه سانتی‌گراد با مصالح سنگی مخلوط شده و در دمای حداقل ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد متراکم می‌گردد. در حالی که فرایند تولید مخلوط‌های حاوی ساسوبیت بسیار ساده است. مخلوط‌های حاوی ساسوبیت را به دو روش می‌توان تولید نمود. روش اول اضافه نمودن آن به طور مستقیم و در حین اختلاط قیر خالص با مصالح سنگی است. در روش دوم ابتدا مقدار مورد نظر ساسوبیت را در دمای ۱۲۰-۱۳۰ درجه سانتی‌گراد با قیر مخلوط کرده و قیر حاصل برای تولید مخلوط آسفالتی به مصالح سنگی اضافه می‌گردد. برای اختلاط ساسوبیت با قیر نیاز به مخلوط‌کن برش بالا نیست و از یک مخلوط‌کن معمولی می‌توان استفاده نمود. دمای تولید مخلوط آسفالتی در هر دو روش ۱۵۰-۱۵۵ درجه سانتی‌گراد و دمای تراکم ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

مقایسه نتایج حاصل از آزمایش ITS

نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم انجام شده روی نمونه‌های ساخته شده با هر دو افزودنی در شکل ۴ نشان داده شده

مخلوط آسفالتی نیمه گرم نسبت به آسفالت پلیمری ارزان‌تر تولید می‌شود. در محاسبه هزینه هر تن آسفالت، از قیمت روز افزودنی استفاده شده است.

هزینه‌های تولید می‌باشد. هزینه تولید مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای حاوی دو افزودنی در جداول ۹ و ۱۰ ارایه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، تولید



شکل ۱۷. مقایسه نتایج حاصل از آزمایش ITS برای نمونه‌های با درصد بهینه SBS و Sasobit

جدول ۹. هزینه‌های تولید آسفالت با درصدهای مختلف ساسوبیت

درصد ساسوبیت مصرفی	قیمت هر یک کیلوگرم محصول (تومان)	درصد قیر بهینه آسفالت	میزان مصرف ساسوبیت در یک تن قیر (کیلوگرم)	میزان مصرف ساسوبیت در یک تن قیر تولید شده با ساسوبیت (تومان)	میزان مصرف تن آسفالت تولید شده با ساسوبیت (تومان)	درصد ساسوبیت مصرفی
۲	۸,۰۰۰	۶,۲	۲۰	۱۶۰,۰۰۰	۱,۲۴	۹,۹۲۰
۲,۵		۶,۱۵	۲۵	۲۰۰,۰۰۰	۱,۵۴	۱۲,۳۲۰
۳		۶,۱	۳۰	۲۴۰,۰۰۰	۱,۸۳	۱۴,۶۴۰

جدول ۱۰. هزینه‌های تولید آسفالت با درصدهای مختلف SBS

درصد SBS مصرفی	قیمت هر یک کیلوگرم محصول (تومان)	درصد قیر بهینه آسفالت	میزان مصرف SBS در یک تن قیر (کیلوگرم)	میزان مصرف SBS در یک تن قیر تولید شده با SBS (تومان)	میزان مصرف SBS در یک تن آسفالت تولید شده با SBS (تومان)	درصد SBS مصرفی
۴	۶,۵۰۰	۶,۴	۴۰	۲۶۰,۰۰۰	۲,۵۶	۱۶,۶۴۰
۵			۵۰	۳۲۵,۰۰۰	۳,۲	۲۰,۸۰۰
۶			۶۰	۳۹۰,۰۰۰	۳,۸۴	۲۴,۹۶۰

*در حال حاضر هزینه تولید هر یک تن قیر پلیمری با SBS رقمی معادل ۲۷۰,۰۰۰ تا ۲۹۰,۰۰۰ تومان می‌باشد که در محاسبات، حداقل این مقدار منظور شده است. در نهایت، مقایسه برخی خصوصیات ذکر شده درباره‌ی دو افزودنی ساسوبیت و SBS در جدول ۱۱ ارایه شده است.

جدول ۱۱. مقایسه خصوصیات ساسوبیت و SBS

SBS	Sasobit	مشخصات آسفالت یا قیر
۵٪	۲ تا ۳٪	حدود درصد بهینه
کاهش	کاهش	درجه نفوذ
افزایش	افزایش	نقطه نرمی قیر
۱۹۰-۲۰۰	۱۲۰-۱۳۰	حدود دمای اختلاط افزودنی با قیر
۱۹۰	۱۵۰-۱۵۵	دمای اختلاط آسفالت
۱۷۰	۱۲۰	دمای تراکم آسفالت
افزایش	کاهش	هزینه سوخت در کارخانه آسفالت
افزایش	کاهش	میزان آلاینده‌های زیست محیطی

۵- نتیجه گیری

SMA و همچنین کاهش دمای ساخت و تراکم ناشی از استفاده از ساسوبیت به عنوان افزودنی و در نتیجه کاهش هزینه‌ها، می‌تواند مهمترین دستاورد این پروژه به حساب آید.

این پژوهش در برگیرنده ارزیابی عملکرد قیر و نمونه‌های آسفالتی با درصد‌های مختلف افزودنی بود. هدف اصلی این تحقیق ارزیابی و بررسی خواص مقاومتی (شیار افتادگی و مقاومت کشی غیر مستقیم) مخلوط‌های آسفالتی SMA حاوی افزودنی ساسوبیت (به عنوان متداول‌ترین افزودنی نیمه گرم) و مقایسه آن با SBS (به عنوان پرکاربردترین پلیمر) بود. در مجموع نتایج حاصل از این تحقیق را می‌توان به شرح زیر عنوان کرد:

۱. استفاده از ساسوبیت تأثیرات قابل توجهی بر خصوصیات قیر خالص داشت به طوری که با افزودن آن به قیر، باعث بهبود خصوصیات قیر از جمله نقطه نرمی، درجه نفوذ و ویسکوزیته قیر و همچنین درجه عملکرد قیر شد. این موضوع با توجه به نقش قیر در مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای بسیار مهم می‌باشد.

۲. نمونه‌های آسفالتی حاوی ساسوبیت، در آزمایش مدول برجهنگی، عملکرد بهتری نسبت به مخلوط‌های معمولی از خود نشان دادند که این امر به دلیل وابستگی ضخامت رویه‌های آسفالتی به مدول برجهنگی از اهمیت زیادی برخوردار است.

۳. نتایج حاصل از آزمایش‌های کشش غیر مستقیم و خزش دینامیکی حاکی از عملکرد بهتر نمونه‌های حاوی ساسوبیت نسبت به نمونه‌های ساخته شده با قیر خالص بود.

۴. مقایسه نتایج آزمایش‌های انجام شده روی نمونه‌های حاوی ساسوبیت و نمونه‌های ساخته شده با SBS نشان داد که ساسوبیت می‌تواند جایگزین مناسبی برای SBS در مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای باشد. این امر با توجه به نقش افزودنی‌ها در مخلوط‌های آسفالتی

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- German Technical Specification
- 2- Warm Mix Asphalt (Wma)
- 3- Aspha-Min
- 4- Sasobit
- 5- Evotherm
- 6- Cold Mix Asphalt
- 7- Hot Mix Asphalt (Hma)
- 8- Rutting Potential
- 9- Aging
- 10- Rutting Resistance
- 11- Softening Point
- 12- Penetration Grade
- 13- Penetration Index
- 14- Penetration-Viscosity Index
- 15- Performance Grade (Pg)

۷- مراجع

- آیین‌نامه‌روسازی آسفالتی راه‌های ایران، (۱۳۹۰)، "نشریه شماره ۲۳۴، پژوهشکده حمل و نقل، دفتر نظام فنی و اجرایی"، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور.

- بهبهانی، ح. نوبخت. ش. فضائلی، ح.، (۱۳۸۷)، "تأثیردانه‌بندی بر خواص مقاومتی مخلوط‌های آسفالتی با

Asphalt (SMA) ", Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 61.

- Graham C. Hurley, Brian D. Prowell, (2005), "Evaluation of Sasobit for Use in Warm Mix Asphalt". NCAT Report 05-06, June.

-Graham C. Hurley, Brian D. Prowell, (2005), "Evaluation of Aspha-min® Zeolite for use in Warm Mix Asphalt", NCAT Report 05-04.

- James A. Scherocman, (1992), "Construction of Stone Mastic Asphalt Test Sections in The U.S.", Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 61.

- Joe W. Button, Cindy Estakhri, and Andrew Wimsatt, (2007), "A Synthesis of Warm-Mix Asphalt", Texas Transportation Institute.

-Kanitpong, K., S. Sonthong, K. Nam, W. Martono, and H. Bahia, (2007), "Laboratory Study on Warm Mix Asphalt Additives," Proceedings, 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board (CD), National Academy of Sciences, Washington, D.C.

- Mallick, R.B., J.E. Bradley, and R.L. Bradbury, (2007), "An Evaluation of Heated RAP Material and Wax Modified Asphalt for Use in Recycled Hot Mix Asphalt," Proceedings (CD), 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C.

-Warm-Mix Asphalt: European Practice", (2008), "US Department of Transportation, Federal Highway Administration".

استخوان‌بندی سنگدانه‌ای (SMA)", پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت.

-زیاری، ح. طباطبایی س.ع. خبیری م.م.، (۱۳۸۵)، "راهنمای کاربردی آزمایش‌های قیر و آسفالت انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران".

-سازمان برنامه و بودجه، معاونت فنی، نشریه ۱۱۰، "مشخصات فنی عمومی راه".

- "سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، طراحی و ارزیابی آزمایشگاهی مخلوط‌های با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای (SMA)", (۱۳۷۹)، (نشریه ۲۰۶) چاپ اول.

- حمیدی، ی. صرافی، الف. و طهمورسی، م.، (۱۳۸۷)، "اثر بتونیت بر قیر لاستیکی"، دوازدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران.

- طباطبایی، الف. م.، (۱۳۸۰)، "روسازی‌راه"، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

- AASHTO PP-41, (2004), "Designing Stone Matrix Asphalt".

- Brown E. R., (1991), "Evaluation of SMA Used In Michigan NCAT Publication, Auburn University", Alabama, March 1992.

- ERay Brown, Jon E.Haddock and Campbell Crawford (1996), Investigation of Stone Matrix Asphalt Mortars.

- G. J. Kennepohl, and J.K. Davidson, (1992), "Introduction of Stone Mastic

Evaluation of Rutting Potential of Stone Matrix Asphalt (SMA) Mixtures Containing Polymer and Non-Polymer Additives

Amin Choubdar, M.Sc., Department of Civil Engineering, Malard Branch, Islamic Azad University, Malard, Tehran, Iran.

Alireza Ameli, Department of Civil Engineering, Malard Branch, Islamic Azad University, Malard, Tehran, Iran.

E-mail: Amelii@gmail.com

Received: November 2019-Accepted: February 2020

ABSTRACT

This paper aims to evaluate the effects of Bentonite on various properties of hot mix asphalt (HMA). The Bitumen was modified with 10%, 15%, 20%, 25% and 30% Bentonite by weight of Bitumen as modifier. In this study the mechanical properties and performance characteristics of modified asphalt concrete were evaluated through various laboratory tests, such as Marshall Stability, resilient modulus, moisture susceptibility, permanent deformation. The performance characteristics evaluated in this study included permanent deformation test and rutting resistance. The test methods used in this evaluation were the dynamic creep test and wheel tracking tests. The results demonstrated that the use of Benteite can enhance Marshall Stability, resilient modulus, tensile strength, resistance to moisture damage and resistance to permanent deformation of mixtures. The mixtures also showed good resistance to permanent deformation evaluated by means of wheel tracking tests.

Keywords: Modified Asphalt Binder, Bentonite, Performance Characteristics, Moisture Susceptibility, Mechanical Properties, Asphalt Mixture